

تبیین نقش انتقال تکنولوژی در QFD فازی برای رقابتی شدن محصول (مورد مطالعاتی: شرکت ایران ترانسفوری)

حسن فارسیجانی^۱، محمدعلی ترابنده^۲

چکیده: امروزه با گسترش رقابت میان شرکت‌ها، ساخت محصول یا خدمت مطابق با الزامات مشتریان، مسئله‌ای مهم تلقی می‌شود. به گفته دیگر، شرکت‌ها می‌بایست شناسایی مطلوبی از نیازمندی‌های مشتریان داشته باشند و بتوانند آنها را در الزامات فنی محصول خود پیاده‌سازی کنند و برای عملی کردن الزامات فنی محصول، باید تضادهای میان این الزامات را در کوتاه‌ترین زمان ممکن برطرف کنند. پژوهش حاضر، ابزاری برای طراحی محصول ترانسفورماتور مبتنی بر الزامات مشتری، در شرکت ایران ترانسفوری ارائه می‌دهد. برای این کار، ابتدا از ابزار QFD فازی استفاده شده است. در فرایند ماتریس خانه کیفیت، برای وزن‌دهی به الزامات مشتریان، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به کار رفته و از نرم‌افزار تصمیم‌گیری پیشرفته برای محاسبه پایایی استفاده شده است. در خروجی ماتریس خانه کیفیت، اهمیت الزامات فنی طراحی بر اساس الزامات مشتریان بیان می‌شود، اما بین این الزامات فنی تضادهایی وجود دارد که براساس اهمیت این الزامات، از ابزار TRIZ برای رفع تضادها در کمترین زمان ممکن استفاده شده است و این به معنای انتقال تکنولوژی است.

واژه‌های کلیدی: انتقال تکنولوژی، روش فازی، ماتریس خانه کیفیت، *TRIZ QFD FAHP*

۱. دانشیار دانشگاه شهیدبهشتی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۰۱/۲۶
نویسنده مسئول مقاله: محمدعلی ترابنده
E-mail: m.a.torabandeh@gmail.com

مقدمه

پیشگیری از شکست محصول در مرحله اولیه فرایند طراحی با به کارگیری از رویکرد فعالانه و رو داشته آینده، بسیار مؤثرتر است تا اینکه فقط در برابر شرایط ناسازگار یک اقدام انفعالی و واکنشی داشته باشیم (رگازونی و روسو، ۲۰۱۰). همچنین بی‌توجهی به خواسته‌های مشتریان، سبب خارج شدن از بازار رقابت می‌شود. بنابراین وجود ابزاری که بتواند با توجه به نیاز مشتریان و نوآوری محصولات، در فضای رقابتی تمرکز داشته باشد، محسوس است. نتیجه این کار افزایش کارایی در طراحی محصول است، چون تناقضات طراحی در مراحل اولیه طراحی شناسایی می‌شوند و به دلیل صرفه‌جویی در زمان، محصول در بازار رقابت باقی خواهد ماند.

ترانسفورماتور محصولی است که هم در مراکز خدماتی، مثل بیمارستان‌ها و هم در مراکز تولیدی به کار می‌رود. هریک از مشتریان خواستار مطابقت این محصول با الزامات کیفی خود و همچنین ویژگی‌های محیطی خاص مرکز فعالیتشان هستند. برای مثال در بیمارستان، ایمنی بالا از خطر آتش‌سوزی و در یک شرکت نفتی، قابلیت کار ترانسفورماتور در شرایط محیطی آلوده، برای سفارش‌دهندگان اهمیت بیشتری دارد. بنابراین نیازهای ویژه مشتریان، تولیدکنندگان را ملزم می‌کنند تا بسته به شرایط سفارش‌دهنده، تغییراتی در پارامترهای فنی این محصولات ایجاد کنند. اما تغییر در هریک از پارامترهای فنی، سبب تأثیرگذاری و گاهی تضعیف پارامترهای فنی دیگر می‌شود. از این روی می‌بایست تکنیکی به کار برد که بتوان این گونه تضادهای طراحی را با حفظ کارایی برای باقی‌ماندن در فضای رقابتی برطرف کرد. این تکنیک نیازمند آگاهی کامل به علم مکانیک طراحی محصول دارد تا مناسب‌ترین راه حل را در کوتاه‌ترین زمان ممکن ارائه دهد و در واقع الزامات فنی اولویت‌بندی‌شده محصول را بر اساس اهمیت نیازهای سفارش‌دهندگان با از بین بردن تناقضات، عملی کند. در این پژوهش برای اولویت‌بندی الزامات فنی طراحی، از ابزار گسترش عملکرد کیفیت (QFD)^۱ و به منظور ارتقای دقت، از منطق فازی استفاده می‌شود. همچنین برای برطرف کردن تضادهای پارامترهای فنی طراحی، تکنیک نوآوری نظام‌یافته (TRIZ) به کاربرده شده است. بنابراین یک انتقال تکنولوژی بین علوم پایه و علوم مدیریت صورت می‌گیرد.

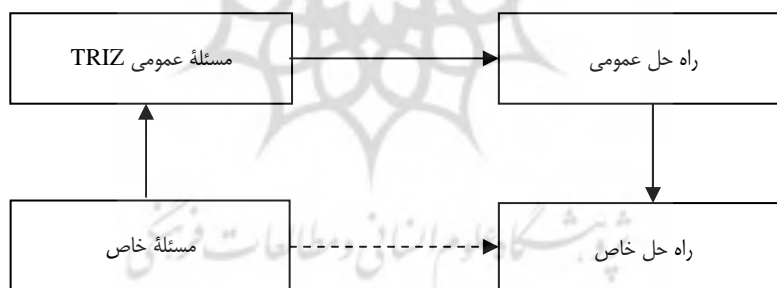
هدف کلی از انجام این پژوهش، افزایش کارایی در طراحی محصول (ترانسفورماتورهای ویژه)، در شرکت ایران ترانسفوری است. برای دستیابی به هدف کلی پژوهش، نخست باید اهداف فرعی را مد نظر قرار داد؛ یعنی شناسایی الزامات سفارشی مشتریان و اولویت‌بندی الزامات

فنی بر اساس موارد سفارش شده در طراحی محصول، به جای ایجاد مصالحه رفع تضادهای موجود در میان الزامات طراحی یا اجزای مختلف سیستم هنگام طراحی محصول.

بیان مسئله

QFD تنها مشخص می کند که چه چیز و چه کاری باید انجام شود، اما چگونگی انجام کار را با در نظر گرفتن تناقضات طراحی تعیین نمی کند. بنابراین نیاز به ابزاری وجود دارد که به جای مصالحه میان تضادها و تناقضها، با آنها مقابله کند. ابزاری که به کار گرفته می شود باید به طور وسیعی بر نوآوری محصولات تمرکز داشته باشد. ابزار TRIZ چگونگی انجام کار را با مقابله بر تناقضها نشان می دهد. همچنین با توجه به اینکه نیازهای انسانی، افراد را وادار به خرید محصولات می کند، در نتیجه برای منحصربه فرد بودن، شرکتها باید نیازهای افراد را به زبان TRIZ ترجمه کنند (پلت و هی، ۲۰۱۱).

TRIZ در فرایندهای نوآورانه، روش سعی و خطا را نمی پذیرد و همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود، تلاش می کند با تبدیل مسائل خاص به مسائل کلی و عمومی، زمان لازم را برای ابداع و نوآوری کاهش دهد (ترینکو، ۲۰۰۱: ۲۲).



شکل ۱. نمودار فرایند تبدیل مسئله خاص به مسئله عمومی

منبع: یاکواینگ و دگشنگ، ۲۰۱۱

برای اینکه خروجی های گسترش عملکرد کیفیت که رتبه بندی الزامات فنی محصول هستند، توانایی پیاده سازی داشته باشند، باید تناقضات احتمالی موجود میان آنها و محیطشان برطرف شود که البته برای پایداری در بازار رقابتی، این کار باید در کمترین زمان ممکن انجام گیرد. بنابراین در اینجا از ابزار تکنیکی جدید و نظام یافته ای استفاده می شود که همزمان هر دوی این مسائل را حل می کند.

برای دستیابی به هدف کلی پژوهش، نخست باید اهداف فرعی شامل، شناسایی الزامات سفارشی مشتریان و اولویت‌بندی الزامات فنی بر اساس موارد سفارش شده در طراحی محصول، به جای ایجاد مصالحه رفع تضادهای موجود در میان الزامات طراحی یا اجزای مختلف سیستم هنگام طراحی محصول را مد نظر قرار داد. بنابراین سؤال‌های پژوهش این‌گونه مطرح می‌شوند:

۱. اولویت‌بندی نیازهای مختلف مشتریان در طراحی محصول چگونه است؟
۲. اولویت‌بندی الزامات طراحی محصول با در نظر گرفتن الزامات مشتریان چگونه است؟
۳. چگونه می‌توان تعارضات به‌وجودآمده در سیستم طراحی محصول را با استفاده از TRIZ به‌طور نسبی شناسایی کرد؟
۴. چگونه می‌توان تعارضات به‌وجودآمده در سیستم برای طراحی محصول را با استفاده از TRIZ به‌طور نسبی برطرف کرد؟

ادبیات پژوهش

گسترش عملکرد کیفیت

گسترش عملکرد کیفیت (QFD) این‌گونه تعریف شده است: چگونه ما کیفیتی را درک کنیم که مشتریانمان بر ایجاد آن در یک مسیر پویا توافق دارند (شاهین و نیک‌نشان، ۲۰۰۸).

QFD همچنین با نام «ماتریس خانه کیفیت» شناخته می‌شود؛ زیرا ماتریس‌هایی که در QFD تناسب و هماهنگی را به‌وجود می‌آورند، به‌نحوی است که تشکیل یک نمودار به شکل خانه را می‌دهد (شاهین و نیک‌نشان، ۲۰۰۸).

سمت چپ ماتریس خانه کیفیت، بیانگر ورودی الزامات مشتری است (چه چیزهایی را سفارش می‌دهد). سمت راست آن، بیانگر ارزیابی رقابتی گزینه‌های کیفی از دید مشتریان است. سقف آن، الزامات فنی مورد نظر برای ارضای الزامات کیفی مشتریان را نشان می‌دهد و ارتباط دوطرفه آنها را مشخص می‌کند. داخل ماتریس روابط متقابل و درجه ارتباط بین الزامات کیفی مشتریان و الزامات فنی را نشان می‌دهد و قسمت پایینی ماتریس، خروجی آن، یعنی اهمیت الزامات فنی در طراحی محصول را مشخص می‌کند (زیافی، یانگ و مینگ، ۲۰۱۲).

اولنیک و لویس (۲۰۰۷)، در حجم‌های آماری تعریف‌شده برای نظرسنجی متخصصان، به‌منظور تکمیل بخش‌های مختلف ماتریس خانه کیفیت، انواع مختلف مقیاس‌های قطعی و غیرفازی را در پُر کردن پرسش‌نامه‌ها به کار برده و آنها را مقایسه کردند. نتایج نشان داد استفاده از گروه مقیاس‌های متفاوت، نتایجی متفاوت در خروجی ماتریس خواهند داشت که این بیانگر ناکارآمد بودن مقیاس‌های غیرفازی در تصمیم‌گیری بودند؛ زیرا این‌گونه مقیاس‌ها نمی‌توانند

همانند مقیاس فازی زبان کیفی پُرکنندگان پرسش‌نامه‌ها را به خوبی به اعداد کمی تبدیل کنند. بنابراین در این پژوهش برای افزایش دقت در ترجمه نیاز کیفی مشتریان، از اعداد فازی استفاده شده است.

کراساک (۲۰۰۷) در مقاله خود تشریح می‌کند که روش تحلیل سلسله‌مراتبی از ابزارهای بسیار مفیدی است که برای تعیین وزن نسبی الزامات در ماتریس خانه کیفیت به کار می‌رود. در QFD به روش سنتی، مقیاس‌ها به صورت اعداد مطلق بیان می‌شوند، اما در روش تحلیل سلسله‌مراتبی از جداولی استفاده می‌شود که الزامات را به صورت دوه‌دو مورد مقایسه قرار می‌دهد و با اختصاص دادن وزنی (عددی بین صفر و یک) شدت رابطه را بیان می‌کند. این عمل سبب ارزیابی دقیق‌تری می‌شود. همچنین در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، تمامی عوامل مطرح‌شده مسئله تعریف می‌شوند، سپس بر اساس شباهتی که به یکدیگر دارند، به صورت سلسله‌مراتبی تقسیم می‌شوند. بنابراین در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، برخلاف روش سنتی، الزامات اولویت‌بندی می‌شوند و این کار موجب می‌شود الزاماتی که از نظر خصوصیات و ابعاد در یک سطح نیستند، در یک طبقه قرار نگیرند که این خود نشان‌دهنده دقت بالای روش تحلیل سلسله‌مراتبی است.

مفهوم TRIZ

جنریج آلتسولر با فرایند نوآوری نظام‌یافته خود، جان تازه‌ای به دانش نوآوری و اکتشاف بخشید. نوآوری نظام‌یافته، امروزه با نام TRIZ شناخته می‌شود. واژه TRIZ سرواژه عبارت روسی است که به صورت تیریز تلفظ می‌شود و «نظریه حل ابتکاری مسئله»^۱ ترجمه انگلیسی آن است (ترینکو، ۲۰۰۱: ۲۶).

امروزه تصمیم‌گیری در مورد طراحی محصول از عوامل مؤثر برای پایداری در فضای رقابتی است، اما الزامات فنی محصول بدون در نظر گرفتن الزامات مشتری، سبب کوتاه‌شدن عمر سازمان‌ها می‌شود. بنابراین می‌بایست ابزاری را به کار برد که بین این دو الزام ارتباط برقرار کرده و بتواند درخواست مشتری را به الزامات فنی ترجمه کند. همچنین گاهی بین الزاماتی که در طراحی می‌بایست رعایت شود، تضاد به وجود می‌آید، یا روندهایی مبتنی بر روش‌های تکراری گذشته، بدون در نظر گرفتن تغییرات در محیط سیستم، در طراحی محصول لحاظ می‌شوند. بنابراین باید رویکردی مناسب نیز برای رفع این‌گونه مشکلات و تناقض‌ها در نظر گرفت.

آلتشولر دریافت بسیار اتفاق افتاده که یک راه‌حل مشابه، بارها و بارها و با فاصله زمانی طولانی به کار گرفته شده است. بنابراین اگر بتوان راه‌حل‌های پایه‌ای را در دسترس نوآوران قرار داد، این فاصله زمانی کاهش خواهد یافت. در نتیجه با مؤثر شدن فرایند نوآوران، فاصله زمانی بین پیشرفت‌ها نیز کاهش یافته و مرز بین فناوری‌های مختلف شکسته خواهد شد (ترینکو، ۲۰۰۱: ۵۱).

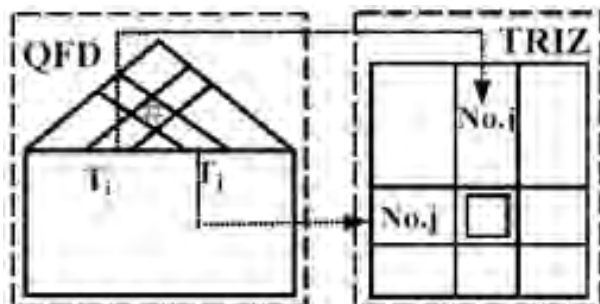
فرسنر در پژوهشی کاربرد دانش TRIZ را در پروژه‌های تولید پاک بررسی کرد و نشان داد که قابلیت مهمی که ابزار TRIZ ارائه می‌کند، این است که برای دستیابی به راه‌حل‌های نوآوران، دانش عمومی در زمینه مورد نظر کافی است؛ زیرا این ابزار، راه‌حلهایی که به آگاهی از سطوح پیچیده و تخصصی دانش نیاز دارند را برای رفع تضادها، به راه‌حلهایی در سطح عمومی در قالب چهل اصل و به شکل ضابطه تبدیل می‌کند (فرسنر، ۲۰۱۰).

در پژوهشی وانگ و چن (۲۰۱۰)، تلاش کردند تا به رویکرد شش سیگما در صنعت خدمات، کاربرد گسترده‌تری دهند و روش TRIZ را با این رویکرد برای افزایش کاربرد روش‌های سنتی شش سیگما ترکیب کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد از ترکیب این دو ابزار می‌توان در بهبود خدمات بانکی استفاده کرد.

ارتباط QFD و TRIZ

همان‌طور که توضیح داده شد، در فرایند QFD خروجی ماتریس خانه کیفیت (رتبه‌بندی الزامات فنی)، پایان کار نیست. سقف ماتریس خانه کیفیت بیانگر ارتباطات زوجی میان الزامات فنی است، حال اینکه برآورده کردن تمامی الزامات فنی با هم شدنی نیست. با توجه به رتبه‌بندی نهایی این الزامات که از ماتریس خانه کیفیت به دست می‌آید، بهبود در یک پارامتر فنی، سبب تضعیف در پارامتر دیگر می‌شود که به آن تضاد یا تعارض^۱ می‌گویند. حال با استفاده از ابزار TRIZ برای رفع چنین مشکلاتی، پارامترهای فنی (۳۹ پارامتر) مطرح و ترجمه می‌شوند و در ماتریسی به نام ماتریس تناقضات^۲ وارد می‌شوند که در قسمت سطر آن پارامتر بهبود شونده و در قسمت ستون آن پارامتر تضعیف شونده قرار دارد. حال به منظور رفع تضاد به وجود آمده، از چهل اصلی استفاده می‌شود که برای رفع تضادها استخراج شده است (لو، لیائو، ژیانگ و لی، ۲۰۰۶). شکل ۲ این ارتباط را به خوبی نشان می‌دهد.

1. Conflict
2. Contradiction Matrix



شکل ۲. ارتباط میان QFD و TRIZ

منبع: لو و لیائو، ۲۰۱۱

کیم و یون (۲۰۱۲) نیز با بررسی ۵۰۰ کارخانه خودروسازی در جهان، از ترکیب دو ابزار QFD و TRIZ برای حل تضادهایی استفاده کردند که بین اجزای خدمت و تولید وجود داشت. نتایج پژوهش آنها نشان داد که به کارگیری چهل اصل TRIZ، می‌تواند به نحوی مطلوب تضادهای بین پارامترهای خدمت و تولید را برطرف کند.

در پژوهشی دیگر، ژنگ از مدل ترکیبی QFD و TRIZ استفاده کرد. در این روش جدید که بر اساس ماتریس خانه کیفیت از QFD بود، از ابزار TRIZ برای حل مشکلات محصولات تولیدی کم‌مصرف و از روش تحلیل پوششی داده‌ها، برای انتخاب راه‌حل‌های پیشنهادشده ابزار TRIZ استفاده شده است (ژنگ، ۲۰۱۰).

روش پژوهش

پژوهش حاضر را می‌توان در گروه پژوهش‌های کاربردی قرار داد؛ زیرا با کاربردی کردن اصولی که از مطالعات علوم پایه‌ای چون فیزیک به دست آمده، در تصمیم‌گیری‌های مدیریت کمک می‌کند تا کارایی در طراحی محصول افزایش یابد. در واقع می‌توان گفت در این پژوهش نوعی انتقال تکنولوژی صورت می‌گیرد؛ زیرا با برقراری ارتباط میان علوم پایه و علوم مدیریت، دانش موجود در علوم پایه، در علم مدیریت به کار گرفته می‌شود. همچنین از آنجا که ترانسفورماتور را در چارچوب یک سیستم مورد بررسی قرار می‌دهد و هدف افزایش کارایی در طراحی آن است، مطالعه موردی به شمار می‌رود. با توجه به شمار اندک جامعه آماری که صاحب‌نظران و متخصصان در طراحی ترانسفورماتور ویژه هستند، نمونه‌گیری در این مطالعه انجام نگرفته است، ضمن اینکه برای شناسایی الزامات مشتری، از نظر خبرگان بخش فروش و برای شناسایی الزامات طراحی، از نظر خبرگان بخش مهندسی استفاده شده است.

کارشناسان عقیده دارند که اگر مسئله به‌درستی تعریف و بیان شده باشد، نیمی از مراحل خود را طی کرده است. به همین دلیل برای پیاده‌سازی روش TRIZ، ابتدا باید مسئله به‌صورت صحیح و دقیق تعریف شود؛ یعنی مسئله مورد نظر به‌دقت بررسی و ابعاد مختلف آن شناخته شود. بنابراین برای خلاقیت در حل مسئله، باید اطلاعات پیرامون مسئله را به خوبی درک کرد. برای این کار، پس از بررسی مسئله از دیدگاه‌های مختلف، باید کلیه اطلاعات مربوط به مسئله مستندسازی شوند. پرسش‌نامه موقعیت‌های نوآوری (ISQ)^۱، محققان را در پیشبرد این فعالیت‌ها یاری می‌دهد (ترینکو، ۲۰۰۱: ۵۱). از آنجایی که در فرایند طراحی محصول، «تعریف مسئله» مستلزم تعریف مشخصه کامل محصولی است که باید طراحی شود و این مشخصه شامل ویژگی‌های فیزیکی، عملکردی، هزینه، کیفیت و کارایی عملیاتی است؛ لذا با توجه به ماهیت ISQ، این پرسش‌نامه می‌تواند اثربخش باشد (طهماسبی‌پور و شهبازی، ۱۳۹۱) که در پژوهش پیش رو با نام پرسش‌نامه اول از آن استفاده شده است.

ISQ همچنین به کاربران امکان می‌دهد به ساختاری برای فرمول‌بندی جدید دست یابند. در بسیاری از مسائل کوچکتر جریان ساده‌تری از تعریف یک مسئله مورد نیاز است. بخش‌های پرسش‌نامه یک تصویر کامل را به‌وسیله پرس‌وجو درباره محیط مسئله، سابقه، منابع، آلودگی، پیامدهای مطلوب و آثار مضر ارائه می‌دهند (شهبازی و حجازی، ۱۳۹۱). با استفاده از پرسش‌نامه اول، اجزای فنی اصلی ترانسفورماتور، الزامات مورد نیاز مشتریان و همچنین سایر سیستم‌های مشابه با سیستم فعلی (ترانسفورماتور نرمال) که ترانسفورماتورهای ویژه هستند، شناسایی شدند و نتایج آن در ماتریس خانه کیفیت (شکل ۳) مشاهده می‌شود.

پرسش‌نامه دوم فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نام دارد. در روش AHP مقایسات به‌صورت خطی و یک‌طرفه انجام می‌گیرد. در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های مطلوب مشتری، ترانسفورماتورهای ویژه که از یک سنخ هستند، به‌صورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. چنانچه قرار باشد این مقایسات دوطرفه باشند (ANP)، بسته به نوع ترانسفورماتور نیز ویژگی‌های مطلوب مشتریان بایستی مقایسه شوند، اما با توجه به اینکه این ویژگی‌ها از یک سنخ نیستند، این امر منطقی نیست. هدف این پرسش‌نامه وزن‌دهی به ترانسفورماتورهای شناسایی‌شده ویژه از پرسش‌نامه اول است. در واقع وزن‌های استخراج‌شده، وزن‌های الزامات کیفی مشتریان از دیدگاه خبرگان سازمان است. بدین ترتیب ترانسفورماتورهای ویژه بر اساس معیارهای کیفی مشتریان، در قالب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، دوبه‌دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

در پرسش نامه سوم، هدف مشخص کردن میزان رابطه دوه‌دو میان پارامترهای فنی در طراحی ترانسفورماتورهای ویژه است. در این پرسش نامه، ارتباط دوه‌دوی هریک از این پارامترها با استفاده از مقیاس‌های فازی مورد بررسی قرار می‌گیرد، ضمن اینکه برای آگاهی از جهت ارتباط الزامات فنی، از ISQ استفاده شده است؛ زیرا پارامترهای مهم فنی، محدودیت‌ها و جهت ارتباط، از جمله مسائلی هستند که در ISQ به‌سادگی شناسایی می‌شوند. با توجه به مواردی که بیان شد، پرسش نامه سوم این پژوهش در مورد سیستم ترانسفورماتور (مورد مطالعه) است. محدودیت‌های این نوع ترانسفورماتور، مواردی است که به‌صورت الزامات کیفی مشتریان شناسایی می‌شوند و چون سیستم امکان ارضای همه آنها را ندارد، بنابراین سیستم‌های مشابه با این سیستم شناسایی می‌شوند که ترانسفورماتورهای ویژه هستند. هر یک از این ترانسفورماتورها برای رفع برخی محدودیت‌های ترانسفورماتور معمولی که آن را نرمال می‌نامند، طراحی می‌شوند. هدف از پرسش نامه چهارم، تعیین میزان تأثیر هریک از انواع ترانسفورماتورهای ویژه، بر تغییر پارامترهای طراحی نسبت به ترانسفورماتورهای نرمال است.

در این پژوهش همان‌طور که بیان شد با استفاده از پرسش نامه دوم، به وزن‌دهی ترانسفورماتورهای ویژه بر اساس الزامات کیفی مشتریان از دید خبرگان پرداخته شده است. برای ورود اطلاعات به ماتریس خانه کیفیت، نام ترانسفورماتورهای ویژه در سمت چپ ماتریس و وزن‌های محاسبه‌شده در سمت راست ماتریس قرار می‌گیرند. برای وزن‌دهی الزامات کیفی، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)^۱ استفاده شده است.

یک عدد فازی مثلثی به‌صورت $\tilde{A} = (a, b, c)$ ، به‌طوری که $a \leq b \leq c$ از طریق تابع عضویت مثلثی به‌دست می‌آید و در مقایسات از اهمیت دقیق مساوی (۱، ۱، ۱) تا اهمیت مطلق (۹، ۷، ۷) را دربرمی‌گیرد (عطایی، ۱۳۸۹: ۲۳-۲۰). برای وزن‌دهی به الزامات مشتریان، مراحل زیر دنبال می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۹: ۲۳-۲۰):

مرحله اول) ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی: استخراج انواع الزامات کیفی مشتریان با استفاده از پرسش‌نامه‌های تشریحی ISQ صورت گرفته است. بنابراین ساختار سلسله‌مراتبی بر اساس ترتیب سطوح به‌شرح زیر است:

سطح ۱: هدف (انتخاب بهترین نوع ترانسفورماتور)؛

سطح ۲: الزامات کیفی مشتریان که عبارتند از: نیاز به نگهداری و تعمیرات، حجم، طول عمر، وزن، قیمت، ایمنی ترانسفورماتور از خطر سوختن (از کار افتادگی)، ایمنی محیط ترانسفورماتور از

خطر آتش‌سوزی، قابلیت کار در شرایط محیطی آلوده، زمان تدارک ترانسفورماتور برای ارسال به مشتری، نوسان‌های ولتاژ که در جدول با حروف C_1 تا C_n نمایش داده شده است. سطح ۳: گزینه‌ها که شامل شش مورد است: ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی، هرمتیک روغنی، با منبع انبساط، خشک، اتوترانس و ترانس زره‌ای که در جداول به‌ترتیب با حروف A_1 تا A_6 نام‌گذاری شده‌اند.

مرحله دوم) تعریف اعداد فازی برای انجام مقایسه‌های زوجی
 مرحله سوم) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به‌کارگیری اعداد فازی
 در این قسمت، ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارهای کیفی انجام می‌گیرد.
 ماتریس مقایسه زوجی به‌شرح رابطه ۱ خواهد بود.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر است:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i \neq j \end{cases}$$

مرحله چهارم) محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی. S_i نیز که خود یک عدد فازی مثلثی است، از رابطه ۲ به‌دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{9i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{9i}^j \right]^{-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه؛ i : بیانگر شماره سطر و j : بیانگر شماره ستون است. M_{9i}^j : اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند.

مقادیر $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{9i}^j$ و $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{9i}^j \right]^{-1}$ را می‌توان به‌ترتیب با استفاده از روابط ۳ تا ۵ محاسبه کرد.

$$\sum_{j=1}^m M_{9i}^j = \left(\sum_{j=1}^m 1, \sum_{j=1}^m m, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{9i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{9i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad \text{رابطه ۵}$$

در روابط بالا؛ l_i ، m_i و u_i ، به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

مرحله پنجم) محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر.

به‌طور کلی اگر $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه

بزرگی M_2 نسبت به M_1 به‌صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$V(M_2 \geq M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

از سویی دیگر، میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر، از رابطه ۷

محاسبه می‌شود.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \quad \text{رابطه ۷}$$

مرحله ششم) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی (رابطه ۸).

$$\hat{d}(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) \quad k=1,2,\dots,n, \quad k \neq i \quad \text{رابطه ۸}$$

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به‌صورت رابطه ۹ خواهد بود.

$$\hat{W} = (\hat{d}(A_1), \hat{d}(A_2), \dots, \hat{d}(A_n))^T \quad A_i (i=1,2,\dots,n) \quad \text{رابطه ۹}$$

مرحله هفتم) محاسبه بردار وزن نهایی: برای محاسبه بردار وزن نهایی، باید بردار وزن

محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد (رابطه ۱۰).

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad \text{رابطه ۱۰}$$

پس از محاسبه بردار وزن نهایی، به‌منزله وزن نهایی الزامات مشتریان وارد ماتریس خانه

کیفیت می‌شود.

در سقف ماتریس خانه کیفیت از اعداد فازی محاسبه شده در پرسش‌نامه سوم استفاده می‌شود

که برای سهولت در محاسبات، دیفازی می‌شوند.

در بدنه ماتریس خانه کیفیت از اعداد فازی پرسش نامه چهارم استفاده می شود که این اعداد نیز برای سهولت در محاسبات دیفازی می شوند. وزن های خروجی ماتریس خانه کیفیت الزامات طراحی بر اساس اهمیت هستند.

در نهایت با استفاده از چهل اصل TRIZ، تناقضاتی که میان پارامترهای طراحی و محیطشان وجود دارند، شناسایی شده و برطرف می شوند. برای این کار از جداول ماتریس تناقضات استفاده می شود.

پایایی پرسش نامه با استفاده از نرم افزار Super Decisions در مورد تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و از طریق ضریب سازگاری مورد بررسی قرار می گیرد. در این پژوهش از روش ضریب آلفای کروناخ استفاده نشده است؛ زیرا این ضریب برای محاسبه پایایی در مطالعات رفتارشناسی استفاده می شود؛ در حالی که پژوهش حاضر به مطالعه فنی درباره ویژگی های ترانسفورماتورها پرداخته است. برای داشتن پایایی می بایست مقدار ضریب سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد. ضریب سازگاری هر یک از ماتریس های مقایسه زوجی به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱. ضریب سازگاری معیارها

ماتریس معیار	نرخ سازگاری
مقایسه بین خود معیارها	۰/۰۹
نیاز کمتر به نگهداری و تعمیرات	۰/۰۵
حجم کمتر	۰/۰۷
طول عمر بیشتر	۰/۰۷
وزن کمتر	۰/۰۸
قیمت کمتر	۰/۰۶
ایمنی ترانسفورماتور از خطر سوختگی و از کار افتادگی	۰/۰۷
ایمنی محیط ترانسفورماتور از خطر آتش سوزی	۰/۰۱
قابلیت کار در شرایط محیطی آلوده	۰/۰۴
زمان تدارک کمتر جهت ارسال به مشتری	۰/۰۴
نوسان های کمتر ولتاژ	۰/۰۶

همان طور که مشاهده شد، ضریب سازگاری برای همه پارامترها کمتر از ۰/۱ است. بنابراین تحقیق حاضر از پایایی برخوردار است. در مورد پرسش نامه های دیگر با توجه به اینکه ماهیت فنی دارند، نه رفتاری و همچنین مقایسه زوجی بین آنها مطرح نمی شود، پایایی معنا ندارد.

یافته های پژوهش

نتایج عملیات FAHP به صورت جدول ۲ بیان می شوند.

همان طور که در جدول مشاهده می‌شود، ترانسفورماتور خشک دارای بیشترین وزن است.

جدول ۲. محاسبه وزن نهایی ترانسفورماتورهای ویژه

جمع امتیاز	C _{۱۰}	C _۹	C _۸	C _۷	C _۶	C _۵	C _۴	C _۳	C _۲	C _۱	
وزن	۰	۰/۰۹۹	۰/۳۳۱	۰/۱۱۳	۰/۰۳۴	۰/۱۱۲	۰/۰۹	۰/۱۳۲	۰/۱۶۱	۰/۰۲۴	
A _۱	۰/۱۲۶	۰/۰۲۱	۰/۳۴۵	۰/۱۸۹	۰/۰۱۲	۰	۰/۱۸۴	۰/۲۲۳	۰	۰/۰۱۸	۰/۱۴۳
A _۲	۰/۱۰۳	۰/۳۹۵	۰/۱۸۲	۰/۱۷۵	۰	۰	۰/۱۶۵	۰/۲۱۷	۰	۰/۰۱۸	۰/۱۵۳
A _۳	۰/۰۶۸	۰	۰/۰۷۲	۰/۰۹	۰	۰	۰/۰۳۶	۰	۰	۰/۲۲۴	۰
A _۴	۰/۴۷۲	۰/۶۳۶	۰/۳۵۱	۰/۱۸۹	۰/۹۸۷	۱	۰/۳۵۴	۰/۲۷۱	۰/۸۵۹	۰/۳۹	۰/۳۲۷
A _۵	۰/۰۶۳	۰/۰۴۵	۰	۰/۱۶۵	۰	۰	۰	۰	۰/۱۴	۰	۰/۲۷۱
A _۶	۰/۱۶۱	۰	۰/۰۴۸	۰/۱۸۹	۰	۰	۰/۲۶	۰/۲۸۷	۰	۰/۳۴۸	۰/۱۰۲

با استفاده از پرسش‌نامه‌های سوم و چهارم، ارتباط دوبه‌دوی الزامات فنی و همچنین میزان تأثیر هریک از انواع ترانسفورماتورهای ویژه بر تغییر الزامات فنی شناسایی شد که نتایج نظرسنجی‌ها در ماتریس خانه کیفیت آورده می‌شود. در ادامه، اعداد فازی درون ماتریس خانه کیفیت از طریق رابطه ۱۱ دیفازی می‌شوند.

$$\frac{(a+4b+c)}{6} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

وزن نهایی الزامات با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions نیز به‌دست آمد و ملاحظه شد که وزن‌های محاسبه‌شده با نرم‌افزار و اعداد جدول ۲، تا یک رقم اعشار یکسان هستند. بنابراین تصمیم گرفته شد که اعداد محاسبه‌شده با نرم‌افزار، به‌دلیل دقت بالا در ادامه عملیات محاسباتی به کار گرفته شوند.

در ماتریس، W_i^* اهمیت نسبی ترانسفورماتورهای ویژه نامیده می‌شود که براساس الزامات مشتریان و به کمک نرم‌افزار محاسبه شده است، دو متغیر RI_j^* و RI_j^* به صورت رابطه ۱۲ و ۱۳ تعریف می‌شوند (خادمی زارع و زارعی، ۲۰۱۰).

$$RI_j = \sum_{i=1}^n W_i^* \times R_{ij} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$RI_j^* = RI_j + \sum_{k=j} T_{kj} \times RI_k \quad \text{رابطه ۱۳}$$

R_{ij} ، در ماتریس روابط خانه کیفیت، نشان دهنده رابطه و تأثیر هریک از انواع ترانسفورماتورهای ویژه بر طراحی الزامات فنی است. RI_k اهمیت نسبی k امین الزام فنی را نشان می‌دهد و T_{kj} نشان دهنده درجه همبستگی بین k امین و j امین الزام فنی در سقف ماتریس خانه کیفیت است. حاصل رابطه ۲ اهمیت نهایی پارامترهای فنی است.



W_j	نوع بدنه	نوع سیم پیچ	تلفات بی‌باری	سطح مقطع هسته	قدرت ترانس	طول سیم پیچ	تلفات باباری	شدت جریان
۰/۱۲۴	۷	۳	۳	۷	۷	۳	۵	۷
۰/۱۰۶	۷	۳	۳	۷	۷	۳	۵	۷
۰/۰۶۱	۷	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۵
۰/۴۹۶	۷	۷	۳	۳	۳	۳	۵	۳
۰/۰۸	۳	۵	۱	۱	۷	۷	۷	۷
۰/۱۲۹	۳	۱	۳	۳	۳	۵	۷	۷
RI_j	۶/۱۳۶	۴/۸۷۴	۲/۸۲۸	۳/۷۴۸	۴/۲۲۸	۳/۵۶۶	۵/۲۷۶	۴/۸۶۶
RI_j^*	۱۴۵/۱۹۸	۱۰۷/۳۷	۱۲۴/۸۷۵	۱۳۱/۹۲	۱۶۴/۲۲۷	۱۳۲/۹۴	۱۵۶/۴۳۵	۱۹۹/۱۸۲

شکل ۳. تکمیل فرایند ماتریس خانه کیفیت

مطابق با خروجی ماتریس خانه کیفیت، سمت راست ماتریس بیانگر اولویت‌بندی نیاز مشتریان در طراحی ترانسفورماتورهای ویژه است. بنابراین به سؤال اول پژوهش پاسخ داده شد. درواقع، ابتدا الزامات کیفی مشتریان در قالب مشخصه کیفی مثل حجم، قیمت، ایمنی و... با استفاده پرسش‌نامه باز ISQ و با نظرسنجی از خیرگان، شناسایی شد. ترانسفورماتورهای ویژه، سبب تغییر در این پارامترهای کیفی می‌شوند که انواع آنها نیز با کمک پرسش‌نامه ISQ

شناسایی شدند، سپس اولویت‌بندی ترانسفورماتورهای ویژه براساس الزامات مشتری از طریق فرایند FAHP تعیین شد.

همان‌طور که ملاحظه شد، در قسمت خروجی پایین ماتریس خانه کیفیت، سه پارامتر فنی شدت جریان، قدرت ترانس و تلفات با باری، به ترتیب دارای بالاترین اهمیت هستند. بنابراین به سؤال دوم پژوهش در مورد اولویت‌بندی الزامات فنی در طراحی محصول (ترانسفورماتورهای ویژه)، پاسخ داد شد. در پاسخ به اینکه رابطه مستقیم یا معکوس بین پارامترهای فنی و اجزای محیطشان چگونه ادراک شده، باید گفت پرسش‌نامه ISQ کمک شایانی در درک این ارتباطات کرده است. سه پارامتر شدت جریان و قدرت ترانس و تلفات با باری با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. افزایش دو پارامتر اول مطلوب، اما افزایش پارامتر سوم نامطلوب است. مطابق با ۳۹ پارامتر TRIZ، می‌توان دو پارامتر بهبودشونده شدت جریان و قدرت ترانس را پارامتر فشار در نظر گرفت و پارامتر تلفات با باری که پارامتر تضعیف‌شونده است را پارامتر اتلاف انرژی مد نظر قرار داد. حال با مراجعه به جدول ماتریس تضاد تکنیکی، می‌توان این تناقض را به استفاده از اصل ۳۶ (اصل تغییر فاز) برطرف کرد. بر اساس این اصل، از اثرات تغییر فاز مثل تغییر حجم استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان با افزایش سطح مقطع سیم‌پیچ‌ها، اتلاف انرژی را کاهش داد. ستون جدول ۳ بیانگر ماتریس رفع تضاد است که قسمت ستون سمت راست بیانگر پارامتر بهبودیابنده و قسمت ردیف بالای جدول بیانگر پارامتر تضعیف‌شونده است و عددی که محل تلاقی دو پارامتر را نشان می‌دهد، بیانگر اصلی است که برای رفع تضاد استفاده شده است.

جدول ۳. رفع تضاد با استفاده از ماتریس تناقضات

پارامتر بهبودیابنده	پارامتر تضعیف‌شونده		
	...	انرژی	...
⋮			
فشار		اصل ۳۶	
⋮			

اما اگر سطح مقطع سیم‌پیچ را افزایش دهیم، نیاز به فضای بیشتری از هسته است که این مورد سبب می‌شود سطح مقطع هسته افزایش یابد. مطابق با خروجی ماتریس خانه کیفیت، سطح مقطع هسته و تلفات بی‌باری، بعد از پارامتر طول سیم‌پیچ، اولویت‌های بعدی هستند و با یکدیگر رابطه غیرمستقیم دارند. بنابراین بین دو پارامتر سطح مقطع هسته و تلفات بی‌باری، تضادی وجود ندارد. افزایش حجم جسم غیر متحرک که در اینجا ناشی از افزایش سطح مقطع هسته است،

سبب افزایش طول آن می‌شود؛ یعنی فضای بیشتری را اشغال می‌کند، بنابراین اگر پارامتر بهبودیابنده را حجم جسم غیرمتحرک و پارامتر نامطلوب را افزایش طول جسم بنامیم با مراجعه به ماتریس رفع تناقضات و استفاده از اصل ۱۴ (کروی ساختن هسته)، می‌توانیم این مشکل را برطرف کنیم؛ زیرا اگر هسته کروی ساخته شود، فضای کمتری را اشغال می‌کند.

جدول ۴. رفع تضاد با استفاده از ماتریس تناقضات

		پارامتر تضعیف‌شونده		
		...	طول جسم غیر متحرک	...
پارامتر بهبود یابنده	...			
	حجم جسم غیر متحرک		اصل ۱۴	
	...			
	...			

بنابراین به پرسش‌های سوم و چهارم پژوهش در مورد شناسایی تضادهای موجود میان الزامات فنی ترانس و رفع این تضاد با استفاده از ابزار TRIZ نیز پاسخ داده شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش، افزایش کارایی در طراحی محصول بود. این پژوهش ابزاری را ارائه کرد که فرایند طراحی محصول را ضابطه‌مند و تضادهای طراحی را رفع می‌کند. این اقدام نتیجه بزرگی را در برداشت؛ به‌گونه‌ای که علاوه بر مد نظر قرار دادن الزامات مشتریان در طراحی محصول با استفاده از QFD، تضادها و مشکلات الزامات فنی که بر اساس الزامات مشتریان به‌دست آمده‌اند با استفاده از اصول TRIZ (به‌جای مصالحه و کنار آمدن با آنها) به‌سرعت با راه‌کارهای نوآورانه حل شدند. بنابراین زمان طراحی مطلوب و کم‌نقص محصول کاهش می‌یابد. ذکر این نکته ضروری است که وجه تمایز اصلی این پژوهش با سایر پژوهش‌هایی که در پیشینه پژوهش مطرح شد، به‌کارگیری همزمان منطق فازی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارتقای دقت طراحی محصول در به‌کارگیری دو ابزار QFD و TRIZ است. در واقع دقت بالای روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، بدین علت است که با طبقه‌بندی معیارها و مقایسه صحیح گزینه‌ها بر اساس معیارهای هدف اولویت‌بندی گزینه‌ها را محقق می‌کند و با توجه به اینکه مقیاس به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش فازی بود، نتایج از دقت بالاتری برخوردار شدند؛ زیرا منطق فازی به زبان کیفی مشتریان نزدیکتر است.

همچنین می‌توان گفت که برای افزایش کارایی، عامل هزینه نیز در نظر گرفته شده است. چون در اولویت‌بندی الزامات کیفی مشتری در طراحی ترانسفورماتورهای ویژه، یکی از پارامترها قیمت بود که مد نظر قرار گرفت و هم اینکه در رفع تضادهای الزامات فنی با استفاده از اصول TRIZ، پیشنهادهایی در کاهش تلفات بی‌باری و با باری داده شده است که به معنای ائتلاف انرژی و صرف هزینه‌های اضافی است. اهداف فرعی در قالب سؤال‌های پرسش‌نامه مطرح شده بودند که با پاسخ‌گویی به این سؤال‌ها اهداف مورد نظر محقق شدند.

از پیشنهادهای این پژوهش برای مطالعات آینده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. به‌کارگیری ترکیب QFD و TRIZ در صنعت خدمات با توجه به ضرورت استفاده از راه‌حل‌های نوآورانه در این صنعت و الهام‌گیری از جدول ۳۹ پارامتر فنی. در بخش خدمات نیز با توجه به تجارب پژوهش‌های گذشته، پارامترهای تأثیرگذار در این بخش تعریف شوند و راه‌حل‌های مورد تأیید پژوهش‌های قبلی که برای حل تضادهای پارامترهای خدماتی به‌کار رفته‌اند، به‌عنوان یک اصل استخراج‌شده و در حل تضادهای سایر بخش‌های خدماتی اجرا شوند.

۲. به‌کارگیری ترکیب TRIZ و مدل تحلیل پوششی داده‌ها، چون مدل تحلیل پوششی داده‌ها با شناسایی بخش‌های ناکارا، کمک شایانی در شناسایی تضادهای موجود در سیستم می‌کند، پس از شناسایی این تضادها با استفاده از چهل اصل موجود، راه‌حل‌های مناسب استخراج شوند.

۳. توسعه مهندسی ارزش با استفاده از TRIZ در قالب پژوهش‌های عملی، چرا که مهندسی ارزش تنها کارکردهای مفید را شناسایی می‌کند، اما ترکیب آن با TRIZ، سبب شناسایی و رفع کارکردهای زیان‌بار و متضاد نیز خواهد شد.

در پایان نیز باید یادآوری کرد محدودیت اصلی این پژوهش، عدم ارتباط مستقیم با سفارش‌دهندگان ترانسفورماتور بوده است، به همین دلیل از نظر کارشناسان بخش فروش استفاده شد.

منابع

ترینکو، ج. (۱۳۸۰). نوآوری نظام‌یافته (TRIZ). ترجمه جعفری، م. و فهیمی، ا. ح. و مورعی، ر. تهران: مؤسسه فرهنگی رسا.

شهبازی، ع. و حجازی، س. ر. (۱۳۹۱). کاهش ریسک، مدیریت ریسک پروژه‌های نوآوری با به‌کارگیری روش ISQ، TRIZ، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت نوآوری. تهران، هفتم و هشتم خرداد ماه.

طهماسبی پور، ا. و شهبازی، ص. (۱۳۹۱). کاربرد مهندسی خلاقیت (TRIZ) در فرایند طراحی محصول. چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت نوآوری، تهران، هفتم و هشتم خرداد ماه. عطایی، م. (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، انتشارات دانشگاه شاهرود، شاهرود.

Crostak, H. and Hackenbroich, I. (2007). Investigations in to more exact weightings of customer demands in QFD, Germany. *The Asian Journal on Quality*, 8 (3): 71 – 80.

Fresner, J. and Jantschgi, J. (2010). The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects, Austria, *Journal Of Cleaner Production*, 18 (2): 128- 136.

Khademi- Zare, H. and Zarei, M. (2010). Ranking the strategic actions of Iran mobile cellular telecommunication using two models of fuzzy QFD, (Iran). *Telecommunications Policy*, 5 (3): 747-759.

Kim, B. and Yoon, B. (2012). Developing a process of concept generation for new product – service systems: a QFD and TRIZ – based approach, Korea. *Springer*, 6 (2): 1- 26.

Lu, C. and Liao, Z. and Jiang, Sh. and Lin, G. (2006). Research on Innovative product design system based on QFD and TRIZ, China. *Trans tech publication*, 20 (4): 1144 – 1147.

Olewnik, A. and Lewis, K. (2007). Limitation of house of quality to provide quantitative design information, USA, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25 (10): 125 – 146 .

Pelt, A. and Hey, J. (2011). Using TRIZ and human – centered design consumer product development. *Procedia Engineering*, 7 (2): 688 – 693.

Regazzoni, D. and Russo, D. (2011). TRIZ tools to enhance risk management, Italy. *Elsevier*, 8 (2): 40- 51.

Shahin, A. and Nikneshan, P. (2008), Integration of CRM and QFD / A novel model for enhancing customer participation in design and delivery, Iran. *The TQM journal*, 20 (1): 68 – 86.

Wang, F. and Chen, K. (2010). Applying lean six sigma and TRIZ methodology in banking services, Taiwan, *Total Quality Management*, 21 (3): 301- 315.

Xiafei, L. and Yang, W. and Ming, Z. (2012). Decision making model based on QFD method for power utility service improvement, China. *Systems Engineering Procedia*, 5 (2): 243-251.

Yaqiang, Zh. and Dogsheng, Zh. (2011). The constructing way of management contradiction solving matrix based on TRIZ, China, Natural Sciences Funds in Hebei Province.

Zheng, H. and Zhang, H. (2010). An innovative design of energy – saving product based on QFD / TRIZ / DEA integration, China, Natural science foundation of Tianjin.